



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

PROYECTO DE INNOVACIÓN

CONVOCATORIA 2016/2017

PROYECTO Nº119

**VIRTUALIZACIÓN E IMPRESIÓN 3D DE MODELOS ANATÓMICOS APLICADOS A
LA DOCENCIA Y PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA.**

CARMEN PÉREZ DÍAZ

FACULTAD DE VETERINARIA

DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIRUGÍA ANIMAL

1. OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Al solicitar el proyecto INNOVA-DOCENCIA, nuestro equipo tenía un objetivo claro: investigar y desarrollar al máximo las aplicaciones que las tecnologías de impresión y virtualización 3D podrían tener en las ciencias veterinarias. Este objetivo, aunque ambicioso, ha sido llevado a cabo día a día por las personas que forman parte de lo que hemos denominado “3DVetLab”. Un proyecto que comenzó como un interés por las tecnologías más punteras del sector de la imagen médica, se ha convertido en un constante afán de llegar más allá en el objetivo de replicar los resultados obtenidos por grandes investigadores del sector y desarrollar métodos propios de creación de recursos docentes y clínicos.

Este proyecto se planificó en dos grandes etapas, cada una de ellas enfocada a la enseñanza no presencial y presencial, respectivamente: 1) Virtualización de modelos anatómicos creando una biblioteca online, navegable y de acceso libre. 2) Impresión 3D de estos modelos anatómicos para su uso directo en sesiones prácticas de las asignaturas del grado de veterinaria, así como otras actividades académicas (títulos propios de la universidad y cursos de formación continuada). Además, buscábamos integrar el uso de estos recursos en la actividad clínica habitual del Hospital Veterinario Complutense de Madrid.

Cuando se presentó este proyecto a la comisión, consideramos fundamental para el éxito del mismo el cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Crear una herramienta docente muy novedosa en 3D, disponible en abierto, en inglés y de enseñanza virtual de la anatomía y la cirugía veterinarias.
2. Superar las barreras que actualmente existen (disponibilidad de cadáveres, toxicidad de los conservantes...etc.) en la preparación tradicional de modelos anatómicos durante las sesiones prácticas presenciales, sin perder realismo y favoreciendo en mayor medida el poder manipular e interactuar con los distintos materiales docentes, lo cual se conseguirá mediante la impresión 3D de los modelos anatómicos virtualizados.
3. Fomentar la colaboración de los alumnos en la fabricación de las piezas anatómicas que posteriormente se usarán en las prácticas. De este modo se familiarizarán con los métodos usados y valorarán los modelos anatómicos con los que trabajarán posteriormente.
4. Facilitar el autoaprendizaje, la comprensión y la adquisición de conocimientos de anatomía y cirugía veterinarias durante el proceso de enseñanza-aprendizaje no presencial y la autoevaluación. La característica de tridimensionalidad es la que facilitará el estudio sin presencia del profesor, sin ninguna duda.
5. Contribuir a la internacionalización de nuestros recursos docentes en 3D en la UCM, que puedan ser referencia para otras universidades e instituciones.

Para poder alcanzar dichos objetivos, nuestro equipo logró establecer colaboraciones con diversos organismos antes siquiera de solicitar el proyecto. De este modo, la empresa tecnológica BQ (líder de la impresión 3D doméstica en España), la universidad de Burgos junto al Equipo de Investigación de Atapuerca, la plataforma virtual de visualización 3D Sketchfab y el centro de diagnóstico por la imagen TAC-VET mostraron su interés en el proyecto así como un firme compromiso de colaborar activamente en él.

2. OBJETIVOS ALCANZADOS

Con tan sólo un año de desarrollo, este proyecto de innovación educativa ha conseguido equiparar a la Facultad de Veterinaria de la UCM con grandes universidades de todo el mundo donde actualmente se realizan investigaciones sobre la misma temática. Investigando un campo tan novedoso como es la aplicación de la impresión 3D a la clínica veterinaria se ha logrado suscitar el interés por la materia tanto por parte de docentes y estudiantes como de clínicos de toda España.

Por este motivo, el Departamento de Medicina y Cirugía animal nos proporcionó una sala en el Hospital Veterinario donde poder instalar nuestro laboratorio de forma que pudimos estar en contacto directo con clínicos, pacientes y estudiantes que allí se encontraban (Fig. 1)



Figura 1 Laboratorio del proyecto 3DVetLab

La creación del laboratorio de impresión 3D vino unida a la apertura de una página en la red social Facebook donde todo el mundo pudiera seguir los progresos de nuestro proyecto. A través de esta página se consiguen un gran número de interacciones que permiten la difusión de contenido a miles de personas. El acceso a la página puede realizarse en la siguiente dirección: www.facebook.com/3DVetLab

En lo que respecta a virtualización de modelos anatómicos, se ha podido crear una biblioteca online, de acceso libre y gratuito con decenas de modelos navegables y accesibles desde cualquier dispositivo con acceso a internet. La colaboración del equipo directivo de Sketchfab ha sido fundamental para la creación de esta biblioteca, concediendo al proyecto suscripciones a la plataforma y el acceso a herramientas de edición sólo disponibles para usuarios de alta categoría. Así hemos podido complementar los modelos creados con anotaciones que guían al espectador por la experiencia virtual, permitiendo una nueva forma de aprendizaje en lo que al estudio anatómico se refiere. Al tratarse de un recurso de tan fácil acceso y usabilidad, los modelos añadidos pueden ser explorados sin necesidad de conocimiento previo de tecnologías infográficas. El acceso a la biblioteca virtual puede realizarse en la siguiente dirección: <https://sketchfab.com/javiwj/models>. En el anexo puede encontrarse un desglose de todas las piezas creadas, así como los códigos QR de acceso a las mismas.

A los pocos meses de su creación, el laboratorio de impresión 3D comenzó a fabricar piezas impresas para ser usadas como método de apoyo a la docencia en diversas asignaturas. De este modo, en algunas prácticas fue posible superar el hándicap de la ausencia de cadáveres disponibles, al proporcionar a los estudiantes modelos anatómicos creados ex profeso para la ocasión.

El proyecto buscaba además acercar a los estudiantes al uso de las nuevas tecnologías, hecho que se ha logrado desde el inicio de las actividades, puesto que estas técnicas novedosas han despertado el interés entre el alumnado. Prueba de ello es el amplio número de solicitudes recibidas para formar parte del equipo que integra 3DVetLab. Este hecho permitirá en el futuro, una profundización en la investigación que se está llevando a cabo, así como una optimización de los flujos de trabajo.

Se buscó también la internacionalización de los recursos docentes creados, buscando elevar el valor de la UCM en el ámbito de la innovación educativa. Durante el desarrollo de nuestro proyecto se han publicado diversos artículos donde se desarrolla el trabajo realizado por nuestro equipo. Uno de ellos (*Impresión 3D en la cirugía veterinaria: El quirófano del futuro*) presentado en las XI jornadas complutenses, X congreso nacional investigación alumnos pregraduados en ciencias de la salud, que tuvo lugar en Madrid del 20-22 de Abril de este año, y con el cual obtuvimos el premio a la mejor comunicación científica. En ámbito internacional, destacamos el artículo aceptado para su publicación (*3DVetLab: future veterinary learning*) en el congreso EDULEARN17: 9th annual International Conference on Education and New Learning Technologies, que tendrá lugar en Barcelona del 3-5 de Julio.

Las metas alcanzadas seguirán desarrollándose y ampliándose durante el siguiente curso con la segunda parte de este proyecto (ya aceptada dentro del programa INNOVA-DOCENCIA 2017-2018, número de proyecto 123) donde además de realizar un relevo generacional del equipo se desarrollarán nuevas técnicas de creación de material docente que pueda ser aprovechado por el máximo de departamentos de la Facultad de Veterinaria.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL PROYECTO

El método de trabajo de nuestro equipo para la obtención de modelos anatómicos parte siempre de la obtención de imágenes a partir de un estudio tomográfico computarizado. La adquisición de las imágenes en formato .DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) fue realizada con un *Toshiba Aquilion 16 Slice CT scanner* (facilitado por el centro TAC-VET) mediante estudios con cortes de 1mm de grosor reconstruidos cada 0,3mm. A continuación se realizaron segmentaciones del estudio según su densidad específica y la región de interés de cada caso, mediante un visualizador de archivos .DICOM (*Horos*) que nos permitiera la creación de una malla tridimensional y su posterior exportación en formato .STL (*Surface Tessellation Language*)(Fig.2A). La obtención del archivo .STL permite la edición de la malla en software de infografía 3D –como *Blender* o *Meshmixer*- para subsanar posibles errores en la geometría del modelo que pueda afectar a la calidad final de la impresión(Fig.2B). Una vez creado el modelo virtual definitivo, solo queda convertir la malla en coordenadas que pueda interpretar la impresora 3D mediante software de segmentación asociado a la impresora (*Cura*)(Fig.2C).

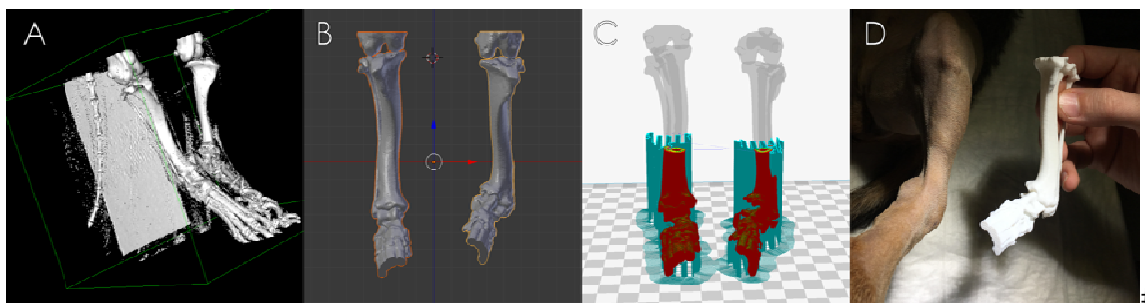


Figura 2 Flujo de trabajo para la obtención de un modelo impreso

Para la impresión de nuestros modelos 3D hicimos uso de una impresora WITBOX2 facilitada por BQ, una LEGIO3D (adquirida gracias a la financiación aportada) y una AnetA6. Estas impresoras FDM extruyen un rollo de filamento de materia prima específica a través de una boquilla que funde y controla el flujo de material para crear una estructura continua de plástico fino. La materia prima puede ser un termoplástico tal como *Ácido Poliláctico* (PLA), *Acrilonitrilo Butadieno Estireno* (ABS), Nylon o, alternativamente, material a base de caucho o derivados metálicos. Las líneas finas del plástico caliente se disponen consecutivamente en numerosas capas delgadas que siguen una trayectoria predeterminada para el objeto. Todos los modelos destinados a docencia fueron impresos en PLA con una altura de capa de 100µm a una temperatura de 208°C diseñando piezas de soporte que dieran estabilidad al modelo, ya que se trataba de piezas complejas de geometría orgánica. Los prototipos diseñados para la creación de ortesis fueron impresos en Nylon con una altura de capa de 400µm a una temperatura de 265°C en el extrusor y 85°C en la base de impresión.

Como añadido, las mallas obtenidas fueron optimizadas para la creación de modelos virtuales de acceso online y gratuito a través de la plataforma de visualización web 3D *Sketchfab*, plataforma considerada el “*Youtube del 3D*”. Estos modelos pueden ser visualizados en cualquier dispositivo con acceso a internet sin necesidad de instalación de software ni conocimientos específicos sobre infografía 3D. Además, junto a los modelos navegables se incluye información sobre el estudio tomográfico e imágenes del mismo para facilitar la comprensión del caso. El catálogo creado, así como los códigos de acceso al mismo, pueden consultarse en el anexo.

4. RECURSOS HUMANOS

Hemos dividido el trabajo en función de la experiencia de cada integrante del equipo.

En primer lugar, los miembros del equipo pertenecientes al departamento de anatomía seleccionaron las piezas anatómicas de mayor calidad pertenecientes a la osteoteca del departamento, para realizar los modelos. Su segunda labor fue facilitar y supervisar el etiquetado de los modelos virtuales según la nómina anatómica. Además a través de uno de los profesores se iniciaron relaciones con otros grupos de trabajo, en concreto con el laboratorio de la evolución humana de la universidad de Burgos.

Los profesores de cirugía han buscado los casos clínicos necesarios para crear modelos útiles para su impresión 3D. Estos casos provenían de la consulta del hospital clínico veterinario complutense y eran remitidos al centro de diagnóstico TACVet. Este centro también ha proporcionado parte de sus casos remitidos de otras clínicas para ampliar el catálogo de modelos virtuales. Además han comenzado a usar esos modelos tanto en las clases teóricas como prácticas de las asignaturas de grado y títulos de postgrado de la unidad docente.

Un grupo formado por dos estudiantes de último curso se encargó de realizar los estudios tomográficos, la virtualización de las piezas y su posterior optimización e impresión de las mismas. Fueron también los encargados de gestionar un convenio con la casa comercial BQ gracias al cual el proyecto pudo contar con una impresora de alta gama a coste cero.

El segundo grupo de estudiantes se encargó de la optimización de las piezas virtuales para ser añadidas a la biblioteca de Sketchfab junto a su correspondiente etiquetado según la nómina anatómica. Además, fueron los encargados de crear y gestionar la página web del proyecto.

Los miembros del PAS adscritos a este proyecto han colaborado en las diferentes tareas de acuerdo a las necesidades del momento y sus conocimientos.

5. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

Para comenzar a desarrollar el proyecto fue necesario en primer lugar obtener una máquina de impresión 3D, puesto que lo consideramos el centro de toda la investigación. Gracias a la subvención pudimos adquirir un kit de montaje de la impresora LEGIO3D. Escogimos la compra de un kit para poder realizar un aprendizaje sobre el hardware de impresión 3D mediante la construcción de una máquina desde el inicio hasta su funcionamiento final. Una vez realizado el montaje comenzaron las pruebas, que tras unas semanas de ensayos y ajustes permitieron finalizar las primeras impresiones de gran calidad. Además, se contactó con la empresa BQ, que tras hacerles conocedores del proyecto, solicitaron la colaboración mediante una impresora doméstica de gama alta (WITBOX2). De este modo, en un mes disponíamos de dos máquinas de impresión 3D perfectamente optimizadas para la creación de modelos anatómicos (IMAGEN).

En primer lugar, se quiso valorar la calidad máxima que podía aportar el TAC con el que se contaba. Para ello se realizó un estudio tomográfico de un cráneo de perro preparado por profesores del departamento de Anatomía de la Facultad de Veterinaria de la UCM. Se trataba de una pieza de gran calidad, donde se apreciaban todos los relieves óseos, así como los principales puntos de inserción muscular (algo difícil de conseguir durante la preparación de modelos óseos). El estudio permitió crear un modelo tridimensional de una calidad superior, obteniendo una malla de más de 3 millones de polígonos y con unas características anatómicas idénticas a la pieza escaneada. Posteriormente se optimizó el modelo para su impresión a escala 1:2 (se decidió escalar por el elevado tiempo de impresión que suponía imprimir la pieza a tamaño real). Fueron necesarias 16 horas de impresión con un gasto total de 200 gramos de PLA. El resultado fue muy satisfactorio (*Fig.3A*), al obtener una réplica exacta y articulada del modelo óseo, por lo que se decidió escanear progresivamente más huesos del mismo animal con el objetivo de disponer de un esqueleto completo canino virtual e imprimible (*Fig.2B-C*).



Figura 3 Modelos impresos a partir de estudios CT de piezas óseas

También se desarrolló la elaboración de piezas frente a una necesidad específica. Así se hizo con la impresión de porciones de los diversos tramos vertebrales de la columna de un perro adulto para poder ejemplificar de manera directa y sencilla los procedimientos quirúrgicos que se explican en la asignatura de Cirugía del último curso de veterinaria. De este modo, una intervención tan compleja como es la neurocirugía puede ser comprendida con facilidad al disponer de un ejemplo palpable de caso a estudiar. Estos modelos se emplearon en las clases de cirugía especial de quinto curso. Tras la explicación de la cirugía con un video se distribuían los modelos entre los estudiantes para que comprobaran que había comprendido la técnica quirúrgica y resolvieran las dudas que les hubieran podido surgir en cuanto a relaciones anatómicas. También se emplearon en las prácticas de un título propio de traumatología y ortopedia impartido a veterinarios. En estas prácticas se utilizaban los

modelos para realizar la técnica quirúrgica antes de hacerla en el cadáver y para colocación de material de osteosíntesis (Fig.4)

Paralelamente, se investigó sobre infografía 3D, creando flujos de trabajo en los programas de adquisición de imágenes tomográficas así como los de modelado 3D. Esto permitió ampliar rápidamente nuestra biblioteca virtual, lo cual facilitó iniciar contactos con la directiva de la página *Sketchfab*, la cual nos proporcionó una cuenta *bussines* y facilitó asistencia siempre que fue necesario.



Figura 4. (De izquierda a derecha) Impresión de segmentos de columnas. Foto intraoperatoria de una hemilaminectomía. Práctica del abordaje de hemilaminectomía en modelo impreso.

Aunque el principal objetivo del proyecto se basaba en las aplicaciones docentes de las tecnologías de impresión 3D, nuestro afán por aplicar los conocimientos desarrollados a la práctica clínica nos ha permitido participar de forma activa en casos de nuestro hospital, demostrando así que las competencias adquiridas durante la realización del proyecto tienen una aplicación real en la clínica veterinaria. Como ejemplo, destacaremos tres casos. El primero fue un perro *Schnauzer* de 2 años con un shunt portosistémico del cual se realizó un modelo virtual(Fig.5). Gracias a este, el cirujano pudo visualizar la vascularización completa (tanto fisiológica como patológica) de la zona de abordaje, reduciendo notablemente el tiempo quirúrgico gracias al conocimiento anatómico previo. El segundo ejemplo en este campo lo encontramos en la cirugía realizada a un perro de raza *Teckel* con una desviación patológica de la tibia, conocida como *Pes Varus*(Fig.2). En este caso se realizaron modelos virtuales e impresos que fueron usados por el cirujano para realizar los cálculos necesarios en la colocación de un fijador externo con el ángulo adecuado (figura 1C). Una réplica adicional fue esterilizada con óxido de etileno y usada como referencia intraquirúrgica. En último lugar, se presenta el caso de un *Corgi galés* de 7 años con un osteocondroma multilobular que protruía hacia el exterior y el interior del cráneo, del que se realizaron modelos virtuales e impresos (Fig.6)para valorar las posibilidades quirúrgicas. Esto facilita la posibilidad de realizar la técnica antes de hacerla en el animal vivo y valorar de esta forma la afectación de zonas importantes como los senos venosos. Otra posibilidad que se barajo fue la de crear una prótesis paciente específica para cubrir el defecto óseo.

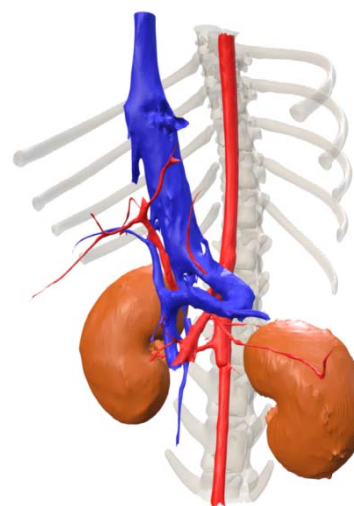


Figura 5. Modelo navegable de un shunt portosistémico.



Figura 6. Modelo impreso y virtualizado de un paciente con una masa craneal.

Gracias a los conocimientos sobre infografía 3D desarrollados a lo largo del proyecto hemos podido llegar a crear modelos diseñados enteramente con modelado virtual. Este es el caso de la fabricación de modelos traqueales que permitieran una mejor comunicación con el propietario a la hora de explicar la patología del colapso traqueal. Con esas mismas técnicas se han creado modelos físicos de cortes ecocardiográficos, generando mallas tridimensionales a partir de esquemas dibujados. Una vez impresos, se procedió a colocar imanes en su estructura, permitiendo así su uso sobre las pizarras magnéticas para la elaboración de explicaciones sobre técnicas ecocardiográficas y patologías cardíacas (Fig. 7).

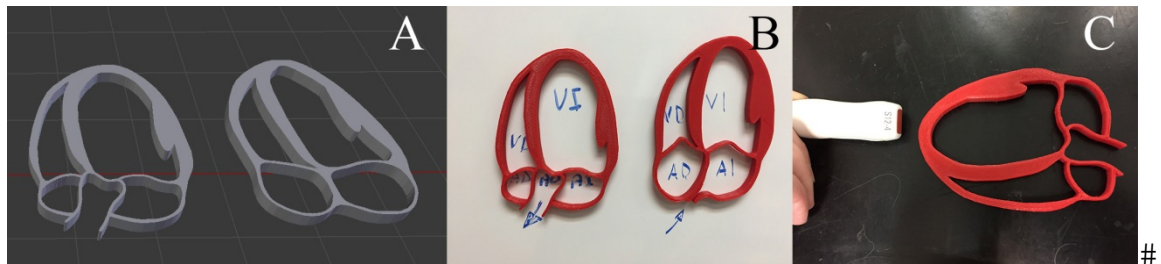


Figura 7 Cortes ecocardiográficos modelados e impresos

6. ANEXOS